

# 防空导弹导航、 制导与控制系统设计

王辉 等编著

Design of Navigation,  
Guidance and Control System for  
Air Defense Missile



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 防空导弹导航、制导与 控制系统设计

王辉 等编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书以防空导弹导航、制导与控制系统设计为主线,内容覆盖了有关寻的制导控制系统设计的各个方面,涉及三通道控制导弹、单通道控制旋转导弹,主要论述制导控制系统数学模型、制导控制回路的设计与仿真、导引规律设计以及导航、制导、控制等分系统的设计要求、方案及模型等。书中作者还根据自己的工作实践,论述了科研工作中已经成功解决的一些对系统性能影响较大的关键技术,并结合当前防空导弹寻的制导控制系统的发展趋势,对国内外在此领域的一些最新发展动态进行了描述。

本书可作为从事防空导弹导航、制导与控制系统工程技术的科研人员及从事航空航天事业的高等院校师生等相关人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

防空导弹导航、制导与控制系统设计/王辉等编著.

—北京:国防工业出版社,2017.8

ISBN 978-7-118-11414-0

I. ①防… II. ①王… III. ①防空导弹—导弹制导—  
控制系统—设计 IV. ①TJ761.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第225160号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 710×1000 1/16 印张 20 1/4 字数 375 千字

2017年8月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 78.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前言

现代高科技的迅猛发展,不但日新月异地改变着整个世界的面貌,而且极其深刻地推动着防空导弹领域的变革。作为防空导弹武器系统总体研究单位,近20年来上海机电工程研究所设计、研制、生产了多种武器系统,为国防现代化做出了突出贡献。鉴于目前系统性介绍防空导弹导航、制导与控制系统技术的专业书籍相对较少,上海机电工程研究所推出《防空导弹导航、制导与控制系统设计》一书,供相关专业科技工作者及其他读者研究防空导弹导航、制导与控制系统技术使用。本书主要由4个方面组成:

(1) 基本理论:以防空导弹导航、制导与控制系统设计为主线,内容基本上覆盖了有关寻的制导控制系统设计的各个方面,涉及三通道控制导弹、单通道控制旋转导弹,主要论述制导控制系统数学模型,制导控制回路的设计与仿真,导引规律设计,以及导航、制导、控制等分系统的设计要求、方案及模型等,为设计新型寻的防空导弹制导控制系统提供理论参考。

(2) 工程应用:介绍防空导弹寻的制导控制的工程实践成果,在总结自己研究成果和学习他人的先进技术基础上,书中所引用的理论、所分析的问题、所提供的设计方法、所列举的实例,都具有较强的工程针对性,具有一定的指导意义。

(3) 关键技术:主要叙述科研工作中已经成功解决的一些对系统性能影响较大的关键技术。包括卡尔曼滤波技术、天线罩补偿技术、捷联去耦技术、目标机动补偿技术、超低空脱靶方位补偿技术、轨控直接力技术、角闪烁抑制技术等,这些关键技术的突破将极大提高防空导弹寻的制导控制系统设计能力。

(4) 发展展望:总结当前防空导弹寻的制导控制系统设计发展趋势的有关问题,希望能在跟踪国内外先进技术方面丰富读者的知识,开阅读者的眼界,给读者以启迪和指导。

全书共10章,在防空导弹寻的制导控制系统工程研制基础上,针对防空导弹导航、制导与控制系统新技术发展需求,比较系统而全面地阐述了防空导弹导航、制导与控制系统的研发设计思路及成果应用,以促进该专业发展以及指导相关专业人员提升设计能力。

本书对于从事防空导弹导航、制导与控制系统工程技术的科研人员,可提升防空导弹制导控制系统论证、设计和工程应用水平;对于航空航天相关专业的高等院

校师生也是一本合适的参考书;对于从事航空航天事业的其他专业人员,可作为扩大本专业应用范围的参考图书;对于刚走出校门投身于航空航天事业的科研人员也能起到良好的指导与启迪作用。

本书在编写过程中,得到了广大科技工作者的热情支持与无私帮助,因此本书是集体智慧的结晶。全书由王辉负责统稿,参与编写的同志主要有张迪、徐胜利、董锡君、陈意芬、江振、王学成、顾村锋、宋振华、宋波涛、束川良、谢文龙、杨莉莉、李瑞康、沈昱恒、姚强、殷玮、刘慧、冯旻等同志。感谢雷明兵、王海良、尹延凯对全书框架及总体内容予以审定。由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请专家、同行及读者予以指正。

作者

2017年6月

# 目录

第1章 绪论	001
1.1 防空导弹制导控制技术发展	001
1.2 防空导弹制导控制系统特点及分类	003
1.2.1 防空导弹制导控制系统特点	003
1.2.2 防空导弹制导控制系统分类	003
1.3 防空导弹制导控制系统工作原理及组成	006
1.3.1 防空导弹制导控制系统工作原理	006
1.3.2 防空导弹制导控制系统组成	007
1.4 防空导弹制导控制系统研制阶段及设计内容	008
1.4.1 制导控制系统方案论证	009
1.4.2 制导控制系统方案设计	009
1.4.3 制导控制系统工程研制	012
1.4.4 制导控制系统设计定型	013
第2章 系统的数学模型	014
2.1 常用坐标系及坐标系的转换	014
2.1.1 常用坐标系	014
2.1.2 坐标系的转换	016
2.2 导弹弹体的数学模型	024
2.2.1 气动布局与控制方式	024
2.2.2 作用于导弹上的力和力矩	030
2.2.3 刚体的运动方程组	038
2.2.4 STT 导弹弹体数学模型	049
2.2.5 BTT 导弹弹体数学模型	052
2.2.6 旋转导弹弹体数学模型	055
2.2.7 弹性弹体数学模型	058
第3章 制导控制系统总体设计	060
3.1 概述	060
3.2 制导控制系统的设计要求	060

3.2.1	制导控制系统设计的基本要求 .....	060
3.2.2	制导控制系统设计重点 .....	061
3.3	制导控制系统设计与分析 .....	063
3.3.1	制导控制系统方案设计 .....	063
3.3.2	初制导段制导控制系统设计 .....	068
3.3.3	中制导段制导控制系统设计 .....	069
3.3.4	末制导段制导控制系统设计 .....	072
3.4	制导控制系统设计中的若干关键技术问题 .....	078
3.4.1	天线罩补偿设计 .....	078
3.4.2	捷联去耦技术 .....	084
3.4.3	目标机动补偿技术 .....	086
3.4.4	超低空脱靶方位补偿技术 .....	090
3.4.5	轨控直接力技术 .....	093
3.4.6	角闪烁抑制技术 .....	097
<b>第4章</b>	<b>导引规律设计</b> .....	<b>105</b>
4.1	概述 .....	105
4.2	经典导引规律简介 .....	106
4.2.1	导弹目标相对运动方程 .....	106
4.2.2	追踪法 .....	107
4.2.3	平行接近法 .....	110
4.2.4	三点法 .....	113
4.2.5	前置量法 .....	116
4.2.6	比例接近法 .....	119
4.3	比例导引规律及其改进 .....	119
4.3.1	比例导引的弹道特性分析 .....	120
4.3.2	修正比例导引规律 .....	125
4.4	导航比的选取 .....	127
4.4.1	不考虑动力学系统惯性 .....	127
4.4.2	考虑动力学系统惯性 .....	127
4.5	比例导引规律的工程实现 .....	130
4.5.1	比例导引规律的工程应用形式 .....	130
4.5.2	视线角速度信号的工程实现方法 .....	130
4.5.3	弹目相对速度的工程实现方法 .....	132
<b>第5章</b>	<b>导航系统设计</b> .....	<b>133</b>
5.1	概述 .....	133

5.2	导航系统的设计要求 .....	134
5.2.1	导航系统的任务 .....	134
5.2.2	导航系统的选择 .....	134
5.2.3	导航系统的主要性能要求 .....	134
5.2.4	惯性测量的要求 .....	135
5.3	捷联惯性导航系统设计 .....	135
5.3.1	捷联惯导系统方案及分析 .....	135
5.3.2	惯性测量组合 .....	136
5.3.3	惯性测量组合的主要性能要求 .....	136
5.3.4	惯性测量组合主要性能的测试方法 .....	138
5.3.5	捷联惯导基本方程 .....	140
5.3.6	捷联惯导系统的数学模型 .....	141
5.4	导弹卫星导航系统设计 .....	142
5.4.1	卫星导航原理 .....	142
5.4.2	国外卫星导航系统 .....	144
5.4.3	中国北斗卫星导航系统 .....	145
5.4.4	卫星导航接收机 .....	146
5.5	组合导航系统设计 .....	147
5.5.1	组合导航的设计原理 .....	147
5.5.2	组合结构种类 .....	148
5.5.3	惯性导航参数校正 .....	148
5.5.4	各种组合方式的特点 .....	150
5.6	防空导弹导航系统初始对准设计 .....	151
5.6.1	静基座初始自对准方法 .....	151
5.6.2	动基座传递对准方法 .....	152
5.7	导弹导航系统试验验证 .....	154
5.7.1	捷联惯导静态导航试验 .....	154
5.7.2	捷联惯导单轴回转试验 .....	154
5.7.3	捷联惯导双轴摇摆试验 .....	155
5.7.4	捷联惯导车载导航试验 .....	155
5.7.5	舰载动基座惯导对准试验 .....	155
5.7.6	空空导弹传递对准试验 .....	156
5.7.7	卫星导航系统试验 .....	156
5.7.8	INS/GNSS 组合导航系统试验 .....	158

<b>第 6 章 制导系统设计</b> .....	159
6.1 概述 .....	159
6.2 制导系统设计的要求 .....	159
6.2.1 战场环境需求分析 .....	159
6.2.2 干扰态势和特性分析 .....	166
6.2.3 目标特性分析 .....	172
6.2.4 制导系统主要性能要求 .....	176
6.3 制导系统设计 .....	178
6.3.1 制导探测系统组成与功能 .....	178
6.3.2 制导探测体制分类 .....	179
6.3.3 工作频段选择 .....	180
6.3.4 制导体制设计 .....	182
6.3.5 制导波形设计 .....	183
6.3.6 制导威力分析 .....	194
6.3.7 制导系统抗干扰设计 .....	204
6.4 制导系统外场试验 .....	212
6.4.1 雷达导引头外场试验 .....	212
6.4.2 红外导引头外场试验 .....	215
<b>第 7 章 稳定控制系统设计</b> .....	217
7.1 概述 .....	217
7.2 稳定控制系统主要技术要求 .....	218
7.3 STT 稳定控制回路设计及分析 .....	219
7.3.1 侧向稳定控制回路方案及分析 .....	219
7.3.2 滚动回路方案及分析 .....	222
7.4 BTT 稳定控制回路设计及分析 .....	224
7.4.1 BTT 稳定控制回路方案及分析 .....	224
7.4.2 BTT 稳定控制回路设计 .....	226
7.5 直接力/气动力复合稳定控制回路方案及分析.....	227
7.5.1 直接力/气动力复合控制器结构.....	227
7.5.2 直接力/气动力复合控制系统设计.....	229
<b>第 8 章 旋转导弹制导控制系统设计</b> .....	232
8.1 概述 .....	232
8.2 制导方式 .....	233
8.2.1 红外玫瑰扫描体制 .....	233
8.2.2 被动微波/红外复合体制.....	234
8.3 旋转导弹的控制方式 .....	236

8.3.1	继电器控制 .....	236
8.3.2	正弦式控制 .....	241
8.4	阻尼回路设计 .....	242
8.4.1	阻尼回路参数设计 .....	242
8.4.2	旋转导弹阻尼回路性能分析 .....	243
8.5	直瞄发射与侧向力控制技术 .....	245
8.6	末端前向偏移控制 .....	247
<b>第9章</b>	<b>制导控制系统半实物仿真</b> .....	<b>250</b>
9.1	概述 .....	250
9.2	半实物仿真系统方案及组成 .....	250
9.2.1	目标仿真系统 .....	252
9.2.2	仿真管理及实时控制系统 .....	265
9.2.3	仿真试验接口系统 .....	267
9.2.4	飞行模拟转台 .....	267
9.2.5	负载模拟台 .....	267
9.2.6	仿真模型 .....	268
9.2.7	专用配套设备 .....	270
9.3	半实物仿真试验 .....	270
9.3.1	稳定控制系统半实物仿真试验 .....	271
9.3.2	制导控制系统半实物仿真试验 .....	272
9.4	半实物仿真试验结果评估 .....	274
<b>第10章</b>	<b>防空导弹制导控制系统发展趋势</b> .....	<b>276</b>
10.1	概述 .....	276
10.2	防空导弹制导控制系统设计中将遇到的新环境 .....	276
10.3	防空导弹制导控制系统传统方法设计中的问题 .....	277
10.4	防空导弹制导控制技术发展动向 .....	278
10.4.1	探测制导控制一体化技术 .....	279
10.4.2	三模复合寻的制导技术 .....	280
10.4.3	短报文制导数据链技术 .....	282
10.4.4	发动机引流直接力控制技术 .....	284
10.4.5	变外形控制技术 .....	286
10.4.6	多导弹协同制导控制技术 .....	287
10.5	先进控制理论与方法在制导控制中的应用 .....	289
10.5.1	滑模变结构理论在被动寻的制导律设计中的应用 .....	289
10.5.2	最优二次型理论在倾斜转弯制导律设计中的应用 .....	291
10.5.3	最优极小值原理在大离轴发射制导规律设计中的应用 .....	297

10.5.4	自抗扰控制理论在自动驾驶仪设计中的应用.....	300
10.5.5	交互多模型在滤波器/制导律一体化设计中的应用 .....	305
10.5.6	推广卡尔曼滤波在单基测角被动定位设计中的应用.....	309
参考文献.....		313

# 第1章 绪 论

## 1.1 防空导弹制导控制技术发展

防空导弹已有 70 余年的发展历史,随着军事威胁的不断升级和科学技术的快速发展,防空导弹制导控制技术得到长足发展,迄今为止,伴随着防空导弹的发展,防空导弹制导控制技术的发展经历了多个阶段。

从 20 世纪 40 年代初期到 50 年代末期是防空导弹发展的第一个阶段。喷气技术的成功及喷气式飞机的应用,使空中目标的飞行高度和速度大幅度提升,当时主要的空中威胁是中空和高空轰炸机,长期应用的高炮防空已不能适应拦截高空高速飞机的需要,这就迫切需要解决中空反飞机任务,第一代防空导弹武器系统就是在这种需求背景下发展起来的。第一代防空导弹从 1941 年德国研制“莱茵女儿”开始,第二次世界大战后,美国、苏联、英国等在德国技术成果的基础上研制出了第一代实用防空导弹,代表型号有美国的“奈基”-1、“奈基”-2、“波马克”A、“波马克”B,苏联的“萨姆”-1、“萨姆”-2,英国的“警犬”等多种防空导弹,其共同特点是反应时间长、机动性差、抗干扰性能差、地面设备庞大和使用维护复杂。此时期防空导弹制导控制系统基本采用驾束制导、指令制导和半主动寻的制导,稳定控制系统多为模拟式控制系统,舵系统一般为液压舵机。

从 20 世纪 60 年代初期至 70 年代中期是防空导弹发展的第二个阶段。由于喷气式飞机的作战功能进一步提高,尤其是低空突防技术和机动飞行能力的提高,使第一代防空导弹和高炮不能与其有效对抗,当时主要空中威胁是低空和超低空突防的飞机,第二代防空导弹武器系统主要为满足拦截低空与超低空突防飞机的需要,拦截飞机的高度可低到几十米。其中具有代表性的为美国的“霍克”和“小榭树”,苏联的“萨姆”-3、“萨姆”-6,法国的“响尾蛇”等多种防空导弹。在第一代防空导弹武器系统的基础上,增加了目标搜索跟踪手段与设备,完善了制导控制系统设计,提高了效能。这一阶段的发展重点是防空导弹的快速反应技术、筒式热发射技术、自旋导弹技术以及自动化检测技术等。此时期防空导弹制导控制系统方面,除无线电指令制导外,红外制导和激光制导等得到了很大发展,并且由单一制导方式转向复合制导,导弹的抗干扰能力有很大提高。

从 20 世纪 70 年代中期至 90 年代中期是防空导弹发展的第三个阶段。由于空中目标广泛应用饱和攻击战术突防,在电子干扰配合下,从一个或几个方向,集中多架飞机,突破防空导弹为主组成的防空火力,这样第一代、第二代防空导弹就不能适应防空作战需要,研制多目标通道防空导弹就成为迫切任务;另外,第一、第二代防空导弹武器未考虑对付精确制导武器,第三代防空导弹武器系统要求能防御精确制导武器,满足空中威胁目标种类、类型及其特性不断发展的需求,一般认为第三代防空导弹武器系统已基本解决反飞机与防空问题。其中具有代表性的为美国的“爱国者”-1,俄罗斯的“C-300”等防空导弹。该时期的显著特点是相控阵雷达技术、垂直发射技术、快速转弯等技术趋向工程实用,在强的电子干扰环境下能同时跟踪几十个目标,武器系统作战反应快,在任务气候条件下具有杀伤各种目标的能力,可同时拦截多(4~6)目标;此外,导弹气动布局方面采用了无翼式布局和大攻角技术,动力系统采用高能推进剂。此时期防空导弹制导控制系统和稳定控制系统通常采用数字式控制系统实现,突破大攻角控制、复合制导控制及中末制导交班等技术。

从 20 世纪 90 年代中期至今是防空导弹发展的第四个阶段。第二代、第三代防空导弹的空中威胁环境仍然存在,并有所加强;另外飞机的防区外攻击,飞航式导弹、战术弹道导弹空袭,无人机参战等空中威胁新环境促使第四代防空导弹快速发展,主要目标是解决多目标拦截、空袭目标的高机动和强隐身、复杂环境干扰等方面的挑战,解决这些需求的支撑性技术是高的制导控制精度。其中具有代表性的为美国的“爱国者”-3、俄罗斯的“C-400”、法国的“ASTER”等防空导弹。这一阶段防空导弹采用轻量化高精度的拦截弹技术、相控阵导引头技术、复合寻的末制导导引头技术、直接力复合控制技术等,此外,导弹气动布局方面采用了无翼式布局、面对称布局,动力系统采用多脉冲发动机。此时期防空导弹制导控制系统采用了组合导航、相控阵制导、多模制导、复合力控制等技术,信息处理系统应用弹载综合信息处理机,舵系统多应用电动舵机。

未来战场具有大纵深、立体化、信息化、密集综合火力支援以及快速机动等突出特点,作战空域进一步扩展(向临近空间及大气层外拓展),作战威胁类型(空天高超飞行器、隐身飞机类目标、飞航导弹类目标、弹道式目标等)进一步增多,作战能力(体系作战、隐身探测、快响应、大过载、超低空、多目标、抗复杂干扰等能力)要求进一步提高,这些作战需求给防空导弹制导控制系统设计带来了严峻挑战。同时,敌我双方的对抗也表现出更加强烈和复杂多变的攻防对抗的博弈,作战模式已由单一兵器的防空作战进入体系对抗的时代。在新的作战思想和作战模式下,未来防空导弹技术必须适应形势发展的需要,这对精确制导和控制能力提出了更高的要求,其导弹制导控制性能必须进一步提高,其概念有必要进一步拓展。同时,现代科学技术的进步,诸如控制理论、传感器、微电子、计算机、纳米技术、信息技术、仿生技术和人工智能技术等多方面的迅猛发展,为防空导弹制导控制的发展提供了理论方面和技术方面的基础。

## 1.2 防空导弹制导控制系统特点及分类

### 1.2.1 防空导弹制导控制系统特点

和其他导弹相比,防空导弹的最大特点在于所攻击目标的复杂性和作战使用环境的严酷性。防空导弹所攻击的目标包括飞机、无人机、巡航导弹、掠海导弹、空地导弹、战术弹道导弹等。这些目标一般具有高速、高机动、几何尺寸小和突防能力强等特点。为了保证导弹在规定的杀伤空域内,对规定的目标,具有较高的导引精度,防空导弹制导控制系统具有以下特点:

(1) 被控对象防空导弹是一个高速并可机动的飞行器,为了攻击目标,在连续探测目标信息的基础上,防空导弹制导控制系统通过制导指令驱动伺服系统并操纵导弹按照一定的规律飞行,这样才能有效攻击目标。

(2) 防空导弹在作战空域内飞行高度和飞行速度的变化范围很宽广,飞行中运动参数和控制参数都会有相当大幅度的改变,致使导弹动态特性发生很大的变化。为了获得满意的导弹稳定控制品质和导弹飞行性能,制导控制系统不能按一定特定弹道设计,必须有自适应能力。这样,会带来系统设计中的非线性、变参数和多输入-多输出等难题。

(3) 由于防空导弹战斗部威力有一定限制,因此,制导控制系统的精度必须满足对目标命中精度的要求。

(4) 由于现代高技术战场越来越复杂,导弹作战面临着严峻的干扰环境,因此制导控制系统的设计必须考虑各种干扰的影响,具备相应对抗措施。

### 1.2.2 防空导弹制导控制系统分类

按工作原理的不同,防空导弹制导控制系统可分为遥控制导控制系统、寻的制导控制系统和复合制导控制系统等,如图 1-1 所示。

#### 1. 遥控制导控制系统

遥控制导控制系统是指导弹飞行所需控制指令由弹外制导站形成,弹上接收系统接收后交由伺服机构并操纵导弹按照一定的规律飞行。根据获取目标运动参数信息的方法,可分为两类:第一类遥控制导控制系统,目标、导弹的运动参数测量装置配置在地面制导站;第二类遥控制导控制系统,目标运动参数测量装置配置在弹上,由导弹将目标运动信息送至制导站,导弹运动参数由地面测量装置测量,然后在制导站形成控制指令再发送至导弹。在这种遥控制导控制系统中,所确定的目标位置精度随弹目距离缩小而提高。

遥控制导适用于攻击活动目标,在面空导弹和空空导弹上应用较为广泛,具体

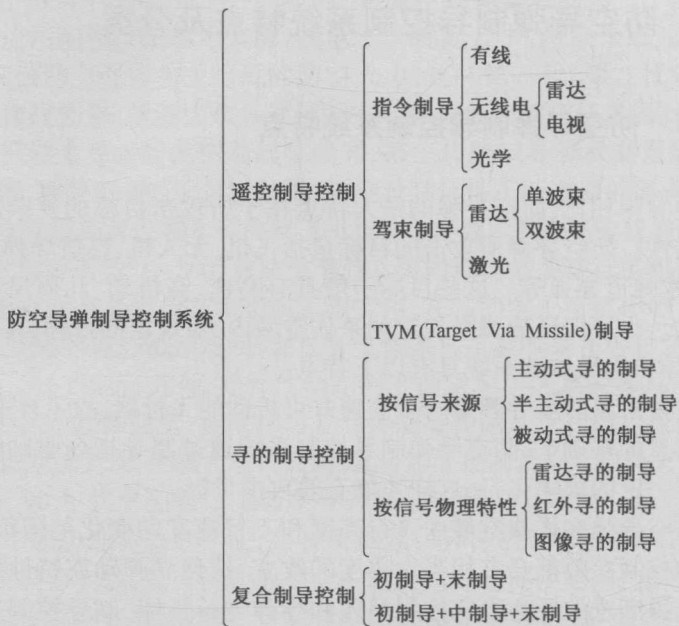


图 1-1 制导控制系统分类

可分为指令制导、波束制导和 TVM 制导。

### 1) 指令制导

指令制导是由弹外导引站发送指令,控制导弹飞向目标的制导。

### 2) 波束制导

波束制导又称为驾束制导,是由弹外导引站发射波束照射目标,弹上导引装置控制导弹沿波束中心飞向目标的制导。

### 3) TVM 制导

TVM 制导是第二类遥控制导系统中的一种典型方式。其原理是利用地面探测雷达发射线性调频宽脉冲对目标进行跟踪照射,目标反射地面雷达的照射信号,一路直接到达地面雷达,由地面雷达主阵接收,通过处理获取目标的坐标位置参数;另外一路到达导弹处,为弹上导引头接收,但导引头接收到的信号不在弹上处理,而是通过发射机将导引头接收到的目标反射信号利用 TVM 下行线转发到地面,由地面雷达 TVM 接收天线接收,在地面进行处理,提取导引头测量的目标信息,按照选定的制导律,形成控制指令,再由地面雷达主阵通过 TVM 上行线送给导弹,由弹上接收机接收处理后送给控制系统,控制导弹按期望的弹道飞向目标。

## 2. 寻的制导控制系统

寻的制导又称为自动寻的或自动导引。寻的制导是利用弹上设备对目标进行探测并形成控制指令实现制导。即弹上导引头获得形成控制指令所需的目标运动

参数的信息,在飞行过程中将导弹自动导引飞向目标。因此在主动寻的和被动寻的制导控制系统中,导弹发射后具有射后不管的能力。这种特性使得寻的制导控制系统在防空导弹上广泛采用。另外,寻的制导的弹上设备相对比较复杂,质量较大,限制了导弹性能。由于受到导弹结构尺寸和质量的限制,寻的制导的作用距离也受到限制。寻的制导与其他制导方法不同,在寻的制导时,制导站只起到辅助作用,保证导弹的发射、目标的选择,在半主动寻的时作为照射目标的能源。

按照产生目标信息能源所处的位置特点,可分为主动寻的制导、半主动寻的制导和被动寻的制导。

### 1) 主动寻的制导

主动寻的制导是指利用弹上导引装置向目标发射能量(无线电波或激光等)并接收目标反射回来的能量形成导引信号,控制导弹飞向目标的制导,常用作复合制导的末制导。

### 2) 半主动寻的制导

半主动寻的制导是指利用弹外导引站向目标发射能量(无线电波或激光等),由导弹接收目标反射回来的能量形成导引信号,控制导弹飞向目标的制导。

### 3) 被动寻的制导

被动寻的制导是指由弹上导引装置接收目标本身辐射的能量(无线电波或红外线等)形成导引信号,控制导弹飞向目标的制导。

按照目标的物理特性,一般可分为雷达寻的制导、红外寻的制导和电视寻的制导。

### 1) 雷达寻的制导

雷达寻的制导是指利用弹上雷达导引头探测目标或目标反射的电磁波形成导引信号,控制导弹飞向目标的制导。

### 2) 红外寻的制导

红外寻的制导是指利用目标辐射的红外特性获得导引信息,形成导引信号控制导弹飞向目标的制导,常为被动式寻的制导,常用在空空导弹的制导及地空导弹的末制导上。

### 3) 电视寻的制导

电视寻的制导是指利用弹上电视摄像机摄取目标图像作为导引信息,形成导引信号控制导弹飞向目标的制导。

## 3. 复合制导控制系统

复合制导控制系统是由两种或几种制导体制的控制系统依次参与工作来实现对导弹的控制飞行的,其组成要根据导弹需要完成的任务来确定。复合制导控制系统通常可分为初制导(程序制导)+末制导(寻的制导)、初制导(指令制导)+末制导(寻的制导)、初制导(波束制导)+末制导(寻的制导)、初制导(程序制导)+中制导(组合导航)+末制导(寻的制导)等方式。

每种复合制导控制都需要解决两种制导方式的交班问题,即从一种制导方式过渡到另一种制导方式时的弹道结合的有关技术问题。例如,交班时导弹位置偏差和导弹从一种制导方式到另一种制导方式时的导弹空间方位的协调性,若不协调,则导引头就不能截获目标,故在复合制导中交班问题是两种制导方式转换的限制条件。

## 1.3 防空导弹制导控制系统工作原理及组成

### 1.3.1 防空导弹制导控制系统工作原理

导引头根据微波天线/光敏器件接收目标辐射的信号,测得目标相对导引头波束/光束中心的角偏差和目标的能量信息,对目标进行精确角跟踪,并输出与弹目视线角速度成正比的电压信号;这些信号送给弹上信息处理机,弹上信息处理机实现导引律算法,经过进一步的滤波、校正后形成控制指令,同时弹上信息处理机根据惯测组合敏感的弹体角速度和加速度增量信息进行捷联惯导解算;稳定控制系统接收弹上信息处理机的控制指令,并根据惯测组合敏感的弹体角速度和加速度信息,进行控制律的解算,通过稳定控制回路的作用,驱动电动舵机偏转相应的舵面,控制导弹付出相应的侧向过载或控制导弹姿态角,从而控制导弹稳定飞向目标,如图 1-2 所示。

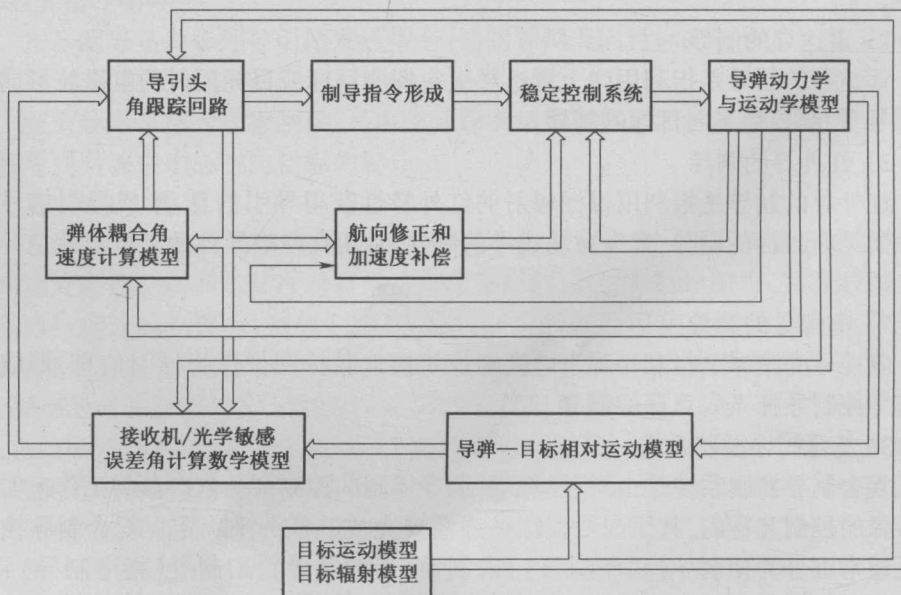


图 1-2 防空导弹制导控制系统回路框图